

Title	非晶質半導体の電子格子緩和と欠陥状態(VI. 半導体の格子緩和,強結合電子・格子系の動的物性,科研費研究会報告)
Author(s)	森垣, 和夫
Citation	物性研究 (1982), 38(2): A72-A74
Issue Date	1982-05-20
URL	http://hdl.handle.net/2433/90587
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

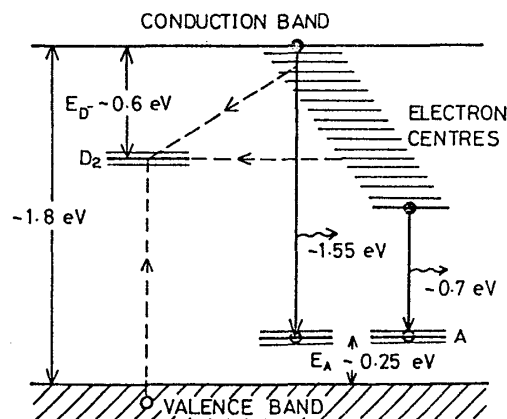
§1 はじめに

非晶質半導体の中でも、カルコゲナイドガラスはルミネッセンストーフスシフトが観測され、再結合中心の電子格子緩和が比較的大きいことが知られている。本論文で取り上げた水素化アモルファスシリコン ($a\text{-Si:H}$) の場合、ルミネッセンストーフスシフトが大きいことが知られており、それはギャップ中の局在準位に電子と正孔が捕獲されることによるシフトであると考えられている¹⁾。即ち電子格子緩和は小さいと推論されている。本論文では、再結合中心での電子格子緩和に関連して得られた光放射 ESR の実験結果と、再結合過程 (第2節) および光誘起欠陥の生成 (第3節) について述べる。

§2 再結合過程

低温における電子と正孔間の再結合過程については、²⁾ 時間分解ルミネッセンスの実験から詳しく調べられた。

その結果では、ルミネッセンスエネルギーは主として捕獲電子準位と捕獲正孔準位のエネルギー差によって決まり、ルミネッセンスの減衰時間は電子と正孔の捕獲断面積の重なりによって決まる。即ち距離の関数になる。更に詳しい情報は、最近の光放射 ESR の実験から得られた³⁻⁵⁾ ルミネッセンスの主要部分は伝導帯の底部

図1 $a\text{-Si:H}$ における再結合過程の模式図

端及びギャップ中に捕獲された電子と捕獲正孔中心 (A 中心) との輻射再結合によって決まる。図1にそのような捕獲電子及び捕獲正孔の準位が示されている。伝導帯の底部は不規則性 (アモルファス構造または H, F などの杂质原子による) による帯端のポテンシャル揺動によって生じた局所的な部分から成っているであろう。ギャップ状態は欠陥によると考えられる。捕獲正孔中心は光放射 ESR で観測される A 中心から成る。これ以外の捕獲正孔準位も存在すると考えられるが、A 中心の捕獲断面積は他より大きいと考えられる。

$a\text{-Si:H}$ において、ダンピングバンド中心は非輻射再結合中心と見做す。これはその中心の準位は、光放射 ESR のダンピングバンド中心 (D_2) による共鳴緩和の A 中心による共鳴緩和のスペクトル依存性、ルミネッセンススペクトル、光放射ギャップエネルギー等から評価された^{4,5)}。図2に $a\text{-Si:H}$ (基板温度 300°C , プローセド処理で作製) において観測されたルミネッセンススペクトル及び光放射 ESR 信号 (D_2 と A), $(\Delta I/I)_{\text{ESR}}$ (ESR に与えるルミネッセンス強度の相対的変化) のスペクトル依存性が示されている。(この図には、ルミネッセンスの減衰効果は示されていない。これについては、§3を参照) ダンピングバンド中心の光放射 ESR 信号, $(\Delta I/I)_{\text{ESR}} (< 0)$, のスペクトル依存性、低エネルギー域で見られるピークは、捕獲電子準位からダンピングバンド中心への電子のトンネル移動による非輻射再結合によって決まる (図1参照)。これに対応して高エネルギー域で観測される $(\Delta I/I)_{\text{ESR}}$ は、図3に示されている配位座標モデルで説明される。この図は実験より誘導されたものである。この図で示されているように、捕獲電子は E_a の障壁を越えてダンピングバンド

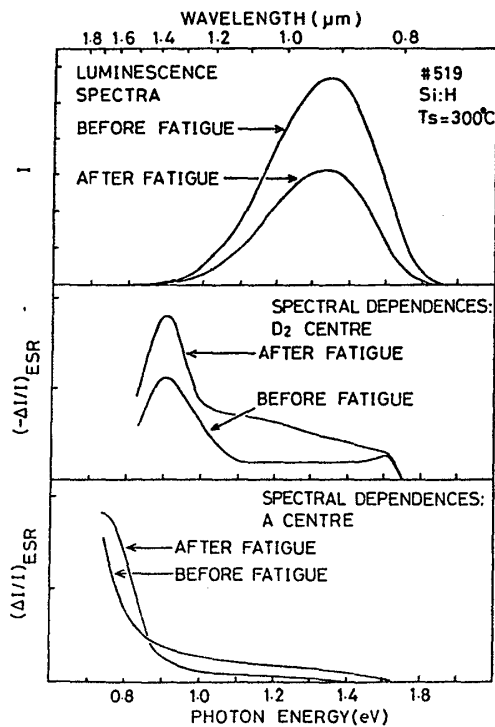


図2 a-Si:Hに2.17μmのレーザー光を照射した後の光発光ESRスペクトル特性, 2K.

中心に於いては、電子捕獲過程は重要な要因となる。

§3 光誘起欠陥の生成

a-Si:Hに2.17μmのレーザー光を照射すると、PPS光照射による欠陥生成が減少する⁷⁾。その原因として光照射によって非放射中心と(2)のジャンパー・ポイント中心の生成が減少したとされた^{7,8)}。最近の直接的証拠は光発光ESRの測定から得られた。図4に光照射(アルゴンレーザー514.5nmの光360mW, 30分間照射。全光子数 $2.4 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$, 2K)の前と後並べに半導体の試料のフェルミレベルを定めた光発光ESRスペクトル(欠陥エネルギー1.16eV)が示されている。光照射ESRスペクトルは、欠陥エネルギーの増大と1)と減少したA型吸収と、その減少と1)と減少したD₂(ジャンパー・ポイント中心)の吸収から成っている。欠陥エネルギーを減らすと、A型吸収は減少し、D₂の吸収は増大する。この結果は、光照射によってジャンパー・ポイント中心が生成されたことを示している。半導体のフェルミレベルを一新した後、図4の通りになる。この欠陥エネルギーは2.17μmのレーザー光

中心(非放射中心)によって正孔と非放射的に再結合する。この非放射再結合率、 P_{NR} は、電子と正孔の相互作用の強さを表すEngelmann-Jontena式⁶⁾を用いて、次式で表わされる。

$$P_{NR} = W_0 (\hbar\omega/kT^*)^{1/2} \exp(-2R/R_0) \exp(-E_a/kT^*) \quad (1)$$

W_0 , ω , R , R_0 , E_a はそれぞれ振動数因子($\sim 10^{13} \text{ sec}^{-1}$)、平均のジャンパー・ポイント中心間の距離、捕獲電子の半径、図3で定義された活性化エネルギーを表わす。 T^* は $kT^* = (1/2)\hbar\omega \coth(\hbar\omega/2kT)$ で定義される。低温では $kT^* = (1/2)\hbar\omega$ となる。深い捕獲電子準位に於いては E_a は小さく、深い準位に於いては大きいと仮定される。欠陥エネルギーの大きい部分の非放射再結合率は大きくなる。前項の議論をフェルミレベルを説明するために、式(1)を用いて詳しく解析する²⁾。

この式にジャンパー・ポイント中心の δ に与える影響

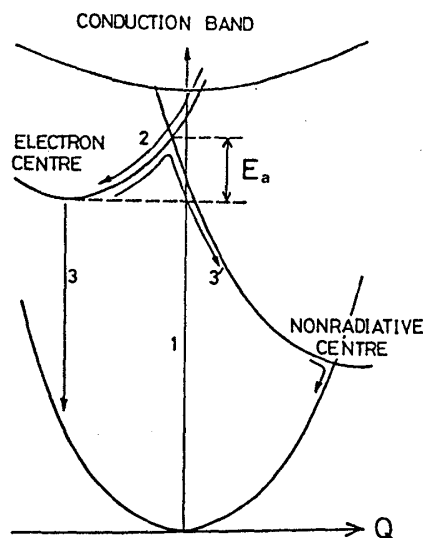


図3 再結合過程の配置座標モデル図。

- 1: 光励起
- 2: 熱平衡化, 捕獲過程
- 3: 放射再結合
- 3': 非放射再結合(ジャンパー・ポイント中心の非放射中心と(2)力 \times)

E_a : 捕獲電子の非放射再結合の活性化エネルギー。

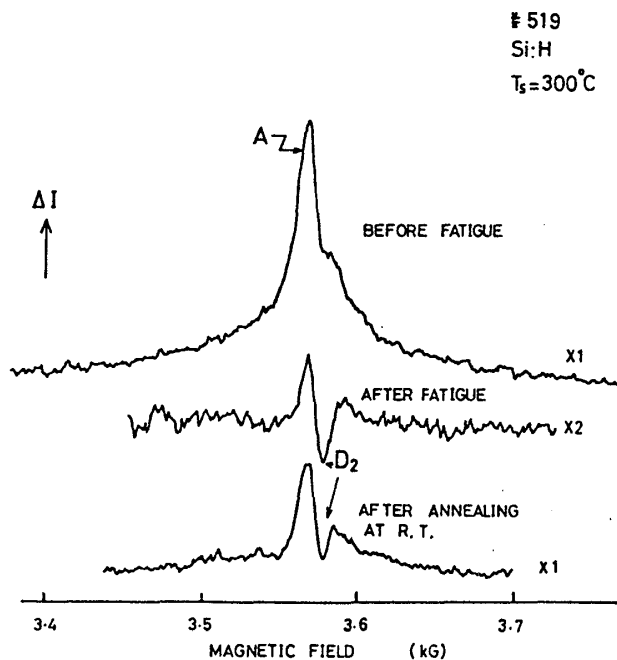


図4. a-Si:H の光照射 ESR スペクトル。

1.6 eV のエネルギーで 1 分間照射した。照射後の ESR 信号は、照射直後 (2500 Gauss 10 GHz, 2 K) に測定された。照射後の ESR 信号は、照射直後 (2500 Gauss 10 GHz, 2 K) に測定された。

変化に寄与しているものと考えられている。これは、照射直後の ESR 信号は、照射直後の ESR 信号と類似の現象と見られる。上記の現象は、照射直後の ESR 信号と類似の現象と見られる。上記の現象は、照射直後の ESR 信号と類似の現象と見られる。上記の現象は、照射直後の ESR 信号と類似の現象と見られる。

文 献

- 1) 森田和夫, 平井孝: 固体物理 15 (1980) 429.
- 2) I. Hirabayashi, K. Morigaki and S. Nitta: J. Phys. Soc. Japan 50 (1981) 2961.
- 3) K. Morigaki: J. Phys. Soc. Japan 50 (1981) 2279.
- 4) K. Morigaki, Y. Sano and I. Hirabayashi: Solid State Commun. 39 (1981) 947.
- 5) K. Morigaki, Y. Sano and I. Hirabayashi: J. Phys. Soc. Japan 51 (1982) 147.
- 6) R. Englman and J. Tontner: Mol. Phys. 18 (1970) 145.
- 7) K. Morigaki, I. Hirabayashi, M. Nakayama, S. Nitta and K. Shimakawa: Solid State Commun. 33 (1980) 851.
- 8) I. Hirabayashi, K. Morigaki and S. Nitta: Japan. J. Appl. Phys. 19 (1980) L357.
- 9) L. C. Kimanling: Solid State Electronics 21 (1978) 1391.